

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-288012

(43)Date of publication of application : 14.10.2004

(51)Int.Cl.

G05D 3/12

G05B 11/32

G05B 11/36

(21)Application number : 2003-081055

(71)Applicant : SANYO DENKI CO LTD

(22)Date of filing : 24.03.2003

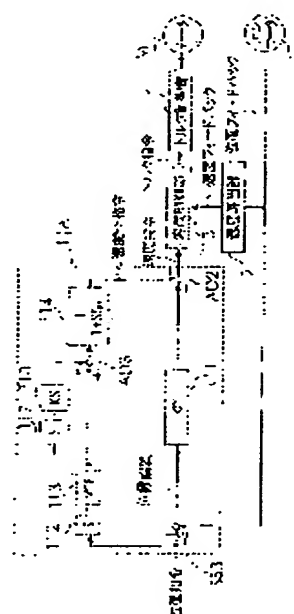
(72)Inventor : IDE YUJI

## (54) POSITION CONTROLLER FOR MOTOR

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a position controller for a motor, allowing increase of a feedforward gain to 100% to improve followability.

**SOLUTION:** In this position controller, by executing proportional differential control (117, 118) to feedforward multiplication output of a position control part 11A, delay compensation for a speed instruction is executed. A speed control part 13 includes a speed control side delay compensation low-pass filter 133 having a transfer function corresponding to a delay of a speed control system. The speed control part 13 comprises: an integral control system including a speed integrator integrating a speed deviation between a speed and a delay speed instruction obtained by inputting the speed instruction to the low-pass filter 133; a proportional control system outputting an instruction proportional to the speed instruction; and a multiplication means multiplying a value obtained by adding output of the integral control system and output of the proportional control system by a speed proportional gain, and outputting it as a torque instruction. The position controller is provided with a speed feedback low-pass filter having a transfer function blocking that ripple caused by a quantization error and/or a position error of the position detection part appears in the torque instruction.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.11.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

The location detecting element which detects the location of the motor which is a controlled system,

The rate calculation section which computes the rate of said motor,

The position control section which outputs a rate command and carries out position control so that the location of said motor and location command which were fed back from said location detecting element may be in agreement,

The speed-control section which outputs a torque command and performs speed control by proportional-plus-integral control so that said rate fed back from said rate calculation section and said rate command may be in agreement,

In the positional controller of the motor equipped with the torque control section which performs a torque control based on said torque command,

Said position control section is a subtraction means to search for the position error of said location command and said location detected by said location detecting element,

The location loop-formation multiplication means which carries out the multiplication of the location proportional gain to said position error,

The differentiator which differentiates said location command,

The feed forward gain multiplication means which carries out the multiplication of the feed forward gain to the output of said differentiator,

A proportion differential means to carry out proportional plus derivative control of the output of said feed forward gain multiplication means, and to compensate the delay of a speed-control system,

The feed forward low pass filter which has the transfer function which removes the ripple by the quantization error of said location command, and carries out filtering of the aggregate value of the output of said proportion differential means, and the output of said feed forward gain multiplication means,

The positional controller of the motor characterized by having an addition means to add the output of said feed forward low pass filter, and the output of said location loop-formation multiplication means, and to output said rate command.

**[Claim 2]**

It has further the position control side delay compensation low pass filter which has a transfer function equivalent to the delay of a speed-control system,

The positional controller of the motor according to claim 1 characterized by inputting said location command into said subtraction means through said position control side delay compensation low pass filter.

**[Claim 3]**

Said speed-control section

The speed-control side delay compensation low pass filter which has a transfer function equivalent to the delay of a speed-control system,

The integral control system constituted including the rate integrator which integrates with the velocity error of the delay rate command which inputted said rate command into said speed-control side delay compensation low pass filter, and obtained it, and said rate,

The proportional control system which outputs the command proportional to the difference of said rate command and said rate,

An addition means to add the output of said integral control system, and the output of said proportional control system,

The positional controller of the motor possessing a multiplication means to multiply the output of said addition means by the example gain of a velocity ratio, and to obtain said torque command according to claim 1 or 2.

**[Claim 4]**

Said speed-control section

The speed-control side delay compensation low pass filter which has a transfer function equivalent to the delay of a speed-control system,

The integral control system which multiplies by it and outputs the example gain of a velocity ratio to the operation value in a control system including the rate integrator which integrates with the velocity error of the delay rate command which inputted said rate command into said speed-control side delay compensation low pass filter, and obtained it, and said rate,

The proportional control system which outputs the command which multiplied the difference of said rate command and said rate by the example gain of a velocity ratio,

The positional controller of the motor according to claim 1 or 2 characterized by consisting of addition means to add the output of said integral control system, and the output of said proportional control system.

**[Claim 5]**

The location detecting element which detects the location of the motor which is a controlled system,

The rate calculation section which computes the rate of said motor,

The position control section which outputs a rate command and carries out position control so that the location of said motor and location command which were fed back from said location detecting element may be in agreement,

The speed-control section which outputs a torque command and performs speed control by proportional-plus-integral control so that said rate fed back from said rate calculation section and said rate command may be in agreement,

In the positional controller of the motor equipped with the torque control section which performs a torque control based on said torque command,

Said position control section,

The differentiator which differentiates said location command,

The feed forward gain multiplication means which carries out the multiplication of the feed forward gain to the output of said differentiator,

A proportion differential means to carry out proportional plus derivative control of the output of said

feed forward gain multiplication means, and to compensate the delay of a speed-control system, The feed forward low pass filter which has the transfer function which removes the ripple by the quantization error of said location command, and carries out filtering of the aggregate value of the output of said proportion differential means, and the output of said feed forward gain multiplication means,

The integrator which integrates with the deflection of the output of said differentiator, and the differential value of said location detected by said location detecting element, and outputs said position error to said location loop-formation multiplication means,

The location loop-formation multiplication means which carries out the multiplication of the location proportional gain to the output of said integrator,

The positional controller of the motor according to claim 4 characterized by providing an addition means to add the command outputted from said location loop-formation multiplication means, and the rate feed forward command outputted from said feed forward low pass filter, and to output as said rate command.

[Claim 6]

The position control side delay compensation low pass filter which has a transfer function equivalent to the delay of a speed-control system is arranged between said differentiators and said integrators,

The positional controller of the motor according to claim 5 characterized by inputting into said integrator the deflection of the output of said differentiator which passed along said position control side delay compensation low pass filter, and the differential value of said location.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

This invention relates to the positional controller of the motor suitable for controlling the location of the motor for high-speed positioning used [ especially ] for a machine tool, semiconductor fabrication machines and equipment, etc. about the positional controller of a motor.

[0002]

[Description of the Prior Art]

As a positional controller of the conventional motor, there is a control unit as shown in drawing 15 [refer to drawing 1 of JP,10-254550,A (patent reference 1)]. With this equipment, the deflection of a location command and a position feedback is computed with the subtractor contained in the position control section, and this deflection is processed in the position control section, and is outputted as a rate command. And the deflection of the rate feedback and the rate command which changed and

obtained the position feedback outputted from Encoder E in the rate calculation section 2 is computed with the subtractor contained in the speed-control section 3. This deflection is processed within the speed-control section 3, and the speed-control section 3 outputs a torque command to the torque control section 4. The torque control section 4 controls the current which flows on Motor M so that the torque as a torque command may be outputted from Motor M.

[0003]

Usually, the position control section 1 in this equipment is constituted as the proportional control (P control) section, and the speed-control section 3 consists of the proportional-plus-integral control (PI control) sections. The PI control section which constitutes the conventional speed-control section 3 has the configuration shown in drawing 16. In this PI control section, the deflection of a rate command and rate feedback is computed with Subtractor SB, and that deflection is inputted into Adder AD through the proportional control system of gain 1. By the integral control system, after carrying out the multiplication of the integral gain to deflection with a multiplier 31, the rate integrator 32 is integrated with this deflection, and it inputs into Adder AD. Adder AD adds the output of a proportional control system, and the output of an integral control system, outputs them to a multiplier 33, and a multiplier 33 carries out the multiplication of the proportional gain to the output of Adder AD, and it outputs it as a torque command. Thus, not only the transient deviation of a rate but steady-state deviation can be controlled by constituting the speed-control section 3 from the PI control section.

[0004]

Moreover, the control approach of a servo motor of acquiring the servo system which raised responsibility and was stabilized is indicated by differentiating a location command in JP,3-15911,A (patent reference 2), calculating the amount of a location of feed forward, adding the amount of the rate which adds the above-mentioned amount of feedforward control to the controlled variable obtained by location loop control, considers as a rate command, differentiates the amount of a location of feedforward control, and is obtained of feedforward control to the value acquired by rate loop control, and considering it as a current command.

[0005]

[Patent reference 1] JP,10-254550,A ( drawing 1 )

[0006]

[Patent reference 2] JP,3-15911,A ( drawing 1 )

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

Although flattery nature has improved by raising feed forward gain in the conventional control unit, when feed forward gain was raised to 100%, there was a problem that a transient overshoot became large. Since the quality of a workpiece is degraded, it is necessary to control a transient overshoot as much as possible. Drawing 7 carries out simulation of the position control actuation when making feed forward gain into 0% in the conventional control unit. Thus, when feed forward gain is small, a transient overshoot is small, but a transient overshoot will become large if feed forward gain is made 100% like drawing 9. For this reason, like drawing 8, it was made about 50% of feed forward gain, and it is the range where a transient overshoot does not become large, and flattery nature is improved conventionally.

[0008]

a control theory ---like -- feedforward control -- \*\*\*\* -- when the target property is known, it is good to count a control input backward so that a controlled variable may be in agreement with desired value. the conventional control system — when the controlled system in the case of being and performing position control is regarded as a speed-control system, a control input is a rate command and a controlled variable is a location. If a speed-control system is approximated with the easiest model, it can express with a first order lag, and it will become primary progress if the inverse function of a controlled system is taken. Conventionally, since this was performed by the fixed

guarantee, compensation over a part for high order delay was not completed, but the transient overshoot had been produced.

[0009]

Moreover, there is a problem of the rate command outputted from a position control machine as another factor. Generally, even if the response of a control system is limited and outputs a rate feed forward command, that rate feedback answers takes time amount. Although a rate feed forward command is outputted and a motor starts actuation, a rate command will be outputted from a position control machine according to the position error produced after a rate feed forward command is outputted before rate feedback answers. And while the motor is rotating by fixed \*\*, although this position error decreases, at the time of a motor slowdown, a position error is produced again and a rate command is outputted.

[0010]

Thus, since the rate command produced according to the position error was added to a rate feed forward command, the rate command beyond the rate command originally needed was given, and the transient overshoot had been produced.

[0011]

Furthermore, there is a problem of a speed-control machine as another factor. The speed-control machine consists of PI control, and usually has composition as shown in drawing 16 . Drawing 7 thru/or drawing 9 are as a result of [ at the time of using the conventional speed-control machine ] simulation. Since the response of a control system is limited, even if a rate command is given, before rate feedback answers, time amount will be taken, and the rate integrator is integrating in the meantime. The time response of a speed-control machine was falling by the charge and discharge of this integrator, and the transient overshoot had arisen also by this. As mentioned above, in the conventional control unit, having constituted the function of a feed forward system from a proportion system and that the position control system was constructed, without taking the response delay of a rate system into consideration, and by having constructed the speed-control machine, without taking the response of a speed-control system into consideration, the transient overshoot was able to be produced and feed forward gain was not able to be raised to 100%. For this reason, there was a problem of being limited in improvement in flattery nature.

[0012]

The object of this invention makes it possible to solve the conventional problem and to raise feed forward gain to 100%, and is to offer the motor positional controller which raised flattery nature.

[0013]

[Means for Solving the Problem]

The location detecting element which detects the location of a motor whose this invention is a controlled system, and the rate calculation section which computes the rate of a motor, By proportional-plus-integral control with the position control section which outputs a rate command and carries out position control so that the location of a motor and location command which were fed back from the location detecting element may be in agreement It considers as the object of amelioration of the positional controller of the motor equipped with the speed-control section which outputs a torque command and performs speed control so that the rate and rate command which were fed back from the rate calculation section may be in agreement, and the torque control section which performs a torque control based on a torque command.

[0014]

A subtraction means by which the position control section of this invention searches for the position error of a location command and the location detected by the location detecting element, The location loop-formation multiplication means which carries out the multiplication of the location proportional gain to a position error, and the differentiator which differentiates a location command, The feed forward gain multiplication means which carries out the multiplication of the feed forward gain to the output of a differentiator, A proportion differential means to carry out proportional plus

derivative control of the output of a feed forward gain multiplication means, and to compensate the delay of a speed-control system, It has the transfer function which removes the ripple by the quantization error of a location command. The feed forward low pass filter which carries out filtering of the aggregate value of the output of a proportion differential means, and the output of said feed forward gain multiplication means, It has an addition means to add the output of a feed forward low pass filter, and the output of a location loop-formation multiplication means, and to output a rate command.

[0015]

If proportional plus derivative control of the feed forward multiplication output is carried out in the position control section like this invention, the property of primary progress can be acquired, the delay of a speed-control system is compensated, and the flattery nature to a location command can be improved. Moreover, if a speed-control side delay compensation low pass filter is used, a rate integrator will collect by the ability making into the thing near zero deflection of the rate command with the delay equivalent to the delay of a speed-control system, and the rate of the rate feedback which is actually late, and an amount will be mostly made to zero. Moreover, even when raising feed forward gain to 100%, the small control system of a transient overshoot can be constituted, and position control which raised flattery nature more can be realized. Moreover, if a feed forward low pass filter is used, it can prevent that the ripple based on the quantization error which the location command section becomes a cause and is generated is contained in rate command itself.

[0016]

Moreover, the position control side delay compensation low pass filter which has a transfer function equivalent to the delay of a speed-control system is prepared further, and you may make it input into a location loop-formation multiplication means the position error of the location command which passed along this position control side delay compensation low pass filter, and the location of a position feedback. Moreover, when integrating an integrator with the output of the differentiator which differentiates a location command, and the deflection of the differential value of a location and searching for a position error, the position control side delay compensation low pass filter which has a transfer function equivalent to the delay of a speed-control system is arranged between a differentiator and an integrator, and you may make it input into an integrator the deflection of the output of a differentiator and the differential value of a location which passed along the position control side delay compensation low pass filter.

[0017]

It is made for the location command and position feedback which are inputted into the position control section at the time of acceleration to start to a coincidence term mostly by preparing such a position control side delay compensation low pass filter. Consequently, the rate command from the position control section becomes a quite small value. If such a configuration is adopted, rate feed forward gain can be made into the value near 1 or 1, and the flattery nature to a location command can be improved.

[0018]

Moreover, the speed-control side delay compensation low pass filter which has the transfer function which is equivalent to the delay of a speed-control system in the speed-control section in this invention, The integral control system constituted including the rate integrator which integrates with the velocity error of the delay rate command and rate which inputted the rate command into the speed-control side delay compensation low pass filter, and obtained it, It constitutes from an addition means to add the proportional control system which outputs the command proportional to the difference of a rate command and a rate, and the output of an integral control system and the output of a proportional control system, and a multiplication means to multiply the output of this addition means by the example gain of a velocity ratio, and to output as a torque command. In addition, in a proportional control system, the multiplication of the example gain of a velocity ratio is carried out to a velocity error, and the operation value under control is multiplied by the example

gain of a velocity ratio, and you may make it output to it in an integral control system. If a speed-control side delay compensation low pass filter is used like this invention, the deflection of the rate command with the delay equivalent to the delay of a speed-control system and the rate of the rate feedback which is actually late will become a thing near zero. Therefore, a rate integrator collects, an amount is mostly made into zero, and the flattery nature to a location command can be improved.

[0019]

When the precision of a location detecting element (for example, encoder) is bad, the ripple from which the quantization error and the position error became a cause may be contained in rate feedback. So, in order to cope with it in such a case, it is desirable to prepare the rate feedback low pass filter which has the transfer function with which the ripple which the quantization error and/or position error of a location detecting element become a cause, and is generated prevents to appear in a torque command. In this case, a proportional control system is constituted including a subtraction means to ask for the deflection of the rate after filtering which inputted the rate into the rate feedback low pass filter, and obtained it, and a rate command. In addition, if what has a high precision and resolution is used as a location detecting element, since a position error will also become small, it is not necessary to adopt such a configuration.

[0020]

As for the position control section, it is desirable to constitute from a subtraction means to search for the position error of a location command and the location detected by the location detecting element, and a location loop-formation multiplication means which carries out the multiplication of the location proportional gain to this position error. In this case, as for the position control section, it is desirable to have further the differentiator which differentiates a location command, the multiplication means which carries out the multiplication of the feed forward gain to the output of a differentiator, and the feed forward low pass filter which has the transfer function which removes the ripple by the quantization error of a location command. Moreover, the position control section may be constituted so that filtering of the output adding the output of a differential means to carry out proportional plus derivative control of the output which carried out the multiplication of the feed forward gain to the output of the differentiator which differentiates a location command, and this differentiator further, and to compensate the delay of a speed-control system, and the output of the multiplication means of said feed forward gain may be carried out with a feed forward low pass filter.

[0021]

[Embodiment of the Invention]

Drawing 1 is the block diagram showing the configuration of the gestalt of operation of the positional controller of the motor of this invention. This system is equipped with Encoder E as a location detecting element which detects the location of the motor M which is a controlled system. The output of Encoder E is the position feedback which shows the location of the output shaft of a motor. The rate calculation section 2 is constituted so that the rate of a motor may be computed based on the output of Encoder E, and the output of the rate calculation section 2 serves as rate feedback. Rate feedback shows the rotational speed of the output shaft of Motor M. Position control section 11A outputs a rate command, and it is constituted so that position control may be performed, so that the location of Motor M and location command which were fed back from the encoder E as a location detecting element may be in agreement. The differentiator 112 with which position control section 11A differentiates a location command with the gestalt of this operation, The feed forward gain multiplication means 113 which carries out the multiplication of the feed forward gain VFF to the output of a differentiator 112, The differentiator 117 which differentiates the output from this multiplication means 113 further, and the multiplier 118 which carries out the multiplication of the derivative gain (Ks) to an output from a differentiator 117, It has the output of a multiplier 118, the output of the feed forward gain multiplication means 113, an addition means AD 3



to add, and the feed forward low pass filter 114 that has the transfer function  $(1/(1+STFF))$  which removes the ripple by the quantization error of a location command. A proportion differential means to compensate the delay of a speed-control system is constituted from this example by the differentiator 117 and the multiplier 118. In addition, the feed forward gain VFF is usually set as extent 40 to 60% (0.4-0.6). And the deflection of a location command and a position feedback is called for with the subtraction means SB 3, and doubles this deflection location proportional gain KP with the location loop-formation multiplication means 111.

[0022]

From position control section 11A, the command to which the command outputted from the location loop-formation multiplication means 111 and the rate feed forward command (rate FF command) outputted from the feed forward low pass filter 114 were added with the addition means AD 2 is outputted as a rate command. By carrying out proportional plus derivative control of such a feed forward multiplication output, the property of primary progress is acquired, the delay of a speed-control system is compensated, and the flattery nature to a location command can be improved. Furthermore, it can prevent that the ripple based on the quantization error included in a location command is contained in rate command itself with the feed forward low pass filter 114.

[0023]

A rate command turns into a torque command through the speed-control section 13. The torque control section 4 controls a current so that the torque as a torque command is outputted. With the equipment of the gestalt of this operation, the positioning settling time can be conventionally shortened by adding feed forward.

[0024]

Drawing 2 is the block diagram showing an example of the concrete configuration of the speed-control section 13 of drawing 1 used by this invention. By proportional-plus-integral control, the speed-control section 13 controls the speed by outputting a torque command so that the rate and rate command which were fed back from the rate calculation section 2 of drawing 1 may be in agreement. As shown in drawing 2, the speed-control section 13 used with the gestalt of this operation is equipped with the speed-control side delay compensation low pass filter 133 which has a transfer function  $(1/(1+STc))$  equivalent to the delay of a speed-control system. Moreover, the speed-control section 13 searches for the velocity error of the delay rate command and the rate which inputted a rate command into a speed-control side delay compensation low pass filter 133, and obtained it with a subtraction means SB 2, and contains the multiplication means 131 which carries out the multiplication of the integral gain  $(1/Tvi)$  to this velocity error, the integral-control system which were constituted including the rate integrator 132 which integrates with the output of the multiplication means 131, and the proportional-control system which output the command proportional to a rate command. And the speed-control section 13 is further equipped with a multiplication means 134 to multiply what added the output of an integral control system, and the output of a proportional control system with the addition means AD 1 by the example gain KVP of a velocity ratio, and to output as a torque command. Although the above configuration is a basic configuration, in this example, the ripple which the quantization error and/or position error of an encoder (location detecting element) become a cause, and is generated is further equipped with the rate feedback low pass filter 135 which has the transfer function  $(1/(1+STFB))$  which prevents appearing in a torque command. Moreover, the proportional control system includes a subtraction means SB 1 to ask for the deflection of the rate after filtering which inputted the rate into the rate feedback low pass filter 135, and obtained it, and a rate command, in this case.

[0025]

In this example, the difference of what let the rate command pass to the speed-control side delay compensation low pass filter 133, and rate feedback is taken with the subtraction means SB 2, the multiplication of the rate integral gain  $(1/Tvi)$  is carried out, and it lets it pass to the rate integrator 132. Moreover, the difference of a rate command and the thing which let rate feedback pass to the

rate feedback low pass filter 135 is taken with the subtraction means SB 1, and it adds with the output of the rate integrator 132, and the addition means AD 1. And the multiplication of the example gain (KVP) of a velocity ratio is carried out to the last, and a torque command is outputted to it.

[0026]

The above-mentioned rate feedback low pass filter 135 is a filter which controls the ripple by the quantization error and position error of Encoder E. This filter is inserted only in feedback of a proportional control system, and the function to make it the amount of ripple not appear in a torque command is achieved. By the integral control system, in order that the rate integrator 132 may perform the smoothing effect, such a filter is unnecessary.

[0027]

Set up the time amount equivalent to the delay of a speed-control system, it is made for a delay compensation output and rate feedback to become an almost equivalent standup, the rate integrator 132 at the time of rate command change collects, and the speed-control side delay compensation low pass filter 133 reduces an amount. Thus, by constituting the speed-control section 13, control of the ripple contained in rate feedback and the rate integrator 132 at the time of rate command change collect, and reduction of an amount can be attained simultaneously.

[0028]

In addition, when the quantization error of Encoder E is small, the rate feedback low pass filter 135 is unnecessary. Moreover, if the speed-control side delay compensation low pass filter 133 is a transfer function which simulates the delay of a speed-control system, what kind of thing will be sufficient as it, and it will not be limited to the transfer function of the gestalt of this operation.

[0029]

Drawing 3 is the block diagram showing the modification of speed-control section 13'. The point which has multiplication means 134' of the example gain KVP of a velocity ratio in the interior of a proportional control system in speed-control section 13' of drawing 3 when the speed-control section 13 of drawing 2 and speed-control section 13' are contrasted (point inserted before the addition means AD 1), In order to carry out the multiplication of the example gain KVP of a velocity ratio to an operation value in an integral control system, a configuration is different in the former speed-control section 13 in that the transfer function of multiplication means 131' is changed. Even if such, the same operation effectiveness as the speed-control section 13 of drawing 2 can be acquired.

[0030]

Drawing 4 is the block diagram showing the modification of the gestalt of operation of drawing 1. The configuration of position control section 11B differs from the gestalt of operation of drawing 1, and in drawing 4, the gestalt of operation of drawing 4 attaches the same sign as the sign given to the component of the gestalt of operation of drawing 1, and the same element at drawing 1, and the sign given to drawing 1 at the same part, and omits explanation. If the gestalt of operation of drawing 1 and the gestalt of operation of drawing 4 are contrasted, both are different in that the point that the locations of a differentiator 112 differ, and an integrator 116 and a differentiator 5 were newly added. Namely, in this position control section 11B, the differentiator 112 which differentiates a location command enters before the subtraction means SB 3. The differentiator 5 which differentiates the location detected with the position transducer is alike before the subtraction means SB 3. The close integrator 116 which integrates with the deflection (location differential deflection) of the output (what differentiated the location command) of a differentiator 112, and the output (what differentiated the location) of a differentiator 5 is in the preceding paragraph of the location loop-formation multiplication means 111 which carries out the multiplication of the location proportional gain. Also according to the gestalt of this operation, the same effectiveness as the gestalt of operation of drawing 1 is acquired.

[0031]

Drawing 5 is the block diagram of the positional controller of the motor of this invention showing the configuration of the gestalt of other operations further. The same sign as the sign given to drawing 1 is given to the component of the gestalt of operation shown in drawing 1, and the same component, and explanation is omitted. In addition to the requirements for a configuration of the gestalt of operation of drawing 1, with the gestalt of this operation, position control section 11C is further equipped with the position control side delay compensation low pass filter 115 which has a transfer function  $(1/(1+STd))$  equivalent to the delay of a speed-control system. With the gestalt of this operation, the position error of the location command and position feedback which passed along the position control side delay compensation low pass filter 115 is searched for by the subtraction means SB 3, and the position error is inputted into the location loop-formation multiplication means 111. In this example, the feed forward gain VFF is set as the value near 1 or 1.

[0032]

The delay of a speed-control system is set to the position control side delay compensation low pass filter 115 as a transfer function. The transfer function of the position control side delay compensation low pass filter 115 is set that the output and position feedback of the position control side delay compensation low pass filter 115 start to the same extent. If the position control side delay compensation low pass filter 115 is added, the output of the location loop-formation multiplication means 111 of position control section 11C will become a quite small value. With this equipment, by addition of the position control side delay compensation low pass filter 115, the feed forward gain VFF can be raised to 100% or the value near 100% (to the value near 1 or 1), it is shorter than the case of the gestalt of operation of drawing 1, comparable, or it a little, and the positioning settling time can be shortened.

[0033]

Drawing 6 shows the configuration at the time of adding the position control side delay compensation low pass filter 115 in the gestalt of operation of drawing 4. Since other points are the same as the gestalt of operation of drawing 4, explanation is omitted.

[0034]

The result of having carried out simulation of the position control actuation when inserting the speed-control side delay compensation low pass filter 133, and setting feed forward gain to 0 in the gestalt of operation of drawing 1 and drawing 2 to drawing 10 is shown. It turns out that a rate integrator collects as compared with the conventional example of drawing 7, and the amount is close to 0. Moreover, the result of having carried out simulation of the position control actuation when a derivative gain setting to 0 in the conditions of drawing 10, and making feed forward gain into 100% to drawing 11 is shown. When it does in this way, it turns out that the amount of transients overshoot of a location becomes large. And the result of having carried out simulation of the position control actuation when putting in a derivative gain in the conditions of drawing 11 to drawing 12 is shown. Even when feed forward gain is made 100% from drawing 12 as compared with drawing 11, it turns out that the amount of transients overshoot becomes less. The result of having carried out simulation of the position control actuation when inserting the position control side delay compensation low pass filter 115 to drawing 13 like the configuration of drawing 5 in the conditions of drawing 11 is shown. Also in the case of drawing 13, it turns out that the amount of transients overshoot is decreasing as compared with drawing 11. Furthermore, the result of having carried out simulation of the position control actuation when putting in a derivative gain on condition that drawing 13 is shown in drawing 14. In drawing 14, the rate command from the position control machine at the time of acceleration and deceleration is about 0, and it turns out that a transient overshoot is small as for 100%, and flattery nature is greatly improved in feed forward gain. Eventually, it turns out that the position error at the time of fixed \*\* is decreasing to about about 1 when making 50% feed forward gain of the conventional example shown in drawing 8 / 2, and flattery nature improves twice [ about ] as compared with the former.

[0035]

### [Effect of the Invention]

According to this invention, by carrying out proportional plus derivative control of the feed forward multiplication output in the position control section, the property of primary progress is acquired, the delay of a speed-control system is compensated, and there is an advantage which can improve the flattery nature to a location command. Moreover, if the speed-control side delay compensation low pass filter is used, deflection of the rate command with the delay equivalent to the delay of a speed-control system and the rate of the rate feedback which is actually late can be made into the thing near zero, a rate integrator will collect, and an amount will be mostly made to zero. Moreover, there is an advantage which can constitute the small control system of a transient overshoot even when raising feed forward gain to 100%, can realize position control which raised flattery nature more, and can realize more nearly high-speed flattery nature.

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the configuration of the gestalt of operation of the positional controller of the motor of this invention.

[Drawing 2] It is the block diagram showing an example of the concrete configuration of the speed-control section used by this invention.

[Drawing 3] It is the block diagram showing an example of the concrete configuration of other speed-control sections used by this invention.

[Drawing 4] It is the block diagram showing the configuration of the gestalt of other operations of the positional controller of the motor of this invention.

[Drawing 5] It is the block diagram of the positional controller of the motor of this invention showing the configuration of the gestalt of other operations further.

[Drawing 6] It is the block diagram of the positional controller of the motor of this invention showing the configuration of the gestalt of other operations further.

[Drawing 7] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when making feed forward gain in the conventional positional controller into 0%.

[Drawing 8] It is drawing showing the result in which the position control actuation when making feed forward gain in the conventional positional controller into 50% carried out simulation.

[Drawing 9] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when making feed forward gain in the conventional positional controller into 100%.

[Drawing 10] In the gestalt of operation of drawing 1 and drawing 2 , it is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when inserting a speed-control side delay compensation low pass filter, and setting feed forward gain to 0.

[Drawing 11] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when a derivative gain setting to 0 in the conditions of drawing 10 , and making feed forward gain into 100%.

[Drawing 12] It is drawing showing the result in which the position control actuation when putting in a derivative gain in the conditions of drawing 11 carried out simulation.

[Drawing 13] In the conditions of drawing 11 , it is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when inserting a position control side delay compensation low pass filter like the configuration of drawing 5 .

[Drawing 14] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when putting in a derivative gain in the conditions of drawing 13 .

[Drawing 15] It is drawing showing the configuration of the positional controller of the conventional motor.

[Drawing 16] It is the block diagram showing the configuration of the conventional speed-control section.

### [Description of Notations]

13 13' Speed-control section

2 Rate Calculation Section

4 Torque Control Section  
11A, 11B, 11C, 11D Position control section  
SB1, SB2, SB3 Subtraction means  
KP Location proportional gain  
KS Derivative gain  
KVP Example gain of a velocity ratio  
VFF Feed forward gain  
111 Location Loop-Formation Multiplication Means  
5,112,117 Differentiator  
113,131,134,131', 134' Multiplication means  
114 Feed Forward Low Pass Filter  
115 Position Control Side Delay Compensation Low Pass Filter  
110,116 Integrator  
132 Rate Integrator  
133 Speed-Control Side Delay Compensation Low Pass Filter  
135 Rate Feedback Low Pass Filter  
AD1, AD2, AD3 Addition means

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the configuration of the gestalt of operation of the positional controller of the motor of this invention.

[Drawing 2] It is the block diagram showing an example of the concrete configuration of the speed-control section used by this invention.

[Drawing 3] It is the block diagram showing an example of the concrete configuration of other speed-control sections used by this invention.

[Drawing 4] It is the block diagram showing the configuration of the gestalt of other operations of the positional controller of the motor of this invention.

[Drawing 5] It is the block diagram of the positional controller of the motor of this invention showing the configuration of the gestalt of other operations further.

[Drawing 6] It is the block diagram of the positional controller of the motor of this invention showing the configuration of the gestalt of other operations further.

[Drawing 7] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when making feed forward gain in the conventional positional controller into 0%.

[Drawing 8] It is drawing showing the result in which the position control actuation when making feed forward gain in the conventional positional controller into 50% carried out simulation.

[Drawing 9] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when making feed forward gain in the conventional positional controller into 100%.

[Drawing 10] In the gestalt of operation of drawing 1 and drawing 2 , it is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when inserting a speed-control side delay compensation low pass filter, and setting feed forward gain to 0.

[Drawing 11] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when a derivative gain setting to 0 in the conditions of drawing 10 , and making feed forward gain into 100%.

[Drawing 12] It is drawing showing the result in which the position control actuation when putting in a derivative gain in the conditions of drawing 11 carried out simulation.

[Drawing 13] In the conditions of drawing 11 , it is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when inserting a position control side delay compensation low pass filter like the configuration of drawing 5 .

[Drawing 14] It is drawing showing the result of having carried out simulation of the position control actuation when putting in a derivative gain in the conditions of drawing 13 .

[Drawing 15] It is drawing showing the configuration of the positional controller of the conventional motor.

[Drawing 16] It is the block diagram showing the configuration of the conventional speed-control section.

[Description of Notations]

13 13'speed-control section

2 Rate Calculation Section

4 Torque Control Section

11A, 11B, 11C, 11D Position control section

SB1, SB2, SB3 Subtraction means

KP Location proportional gain

KS Derivative gain

KVP Example gain of a velocity ratio

VFF Feed forward gain

111 Location Loop-Formation Multiplication Means

5,112,117 Differentiator

113,131,134,131', 134' Multiplication means

114 Feed Forward Low Pass Filter

115 Position Control Side Delay Compensation Low Pass Filter

110,116 Integrator

132 Rate Integrator

133 Speed-Control Side Delay Compensation Low Pass Filter

135 Rate Feedback Low Pass Filter

AD1, AD2, AD3 Addition means

---

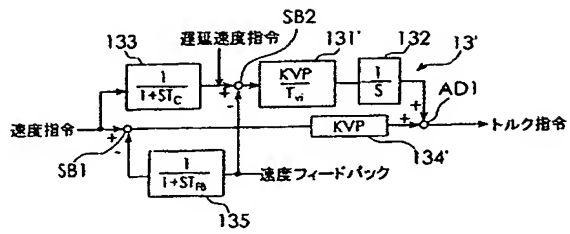
[Translation done.]

\* NOTICES \*

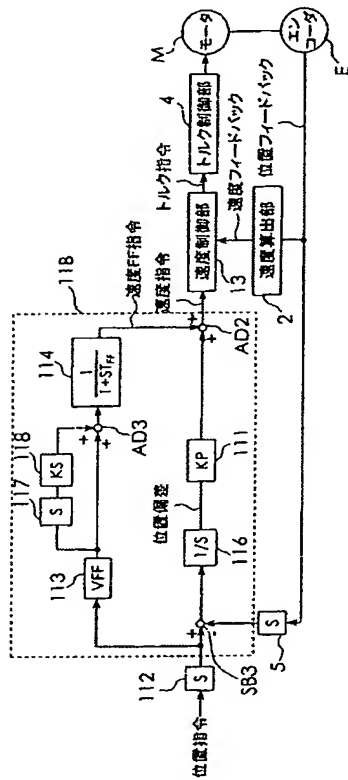
JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.



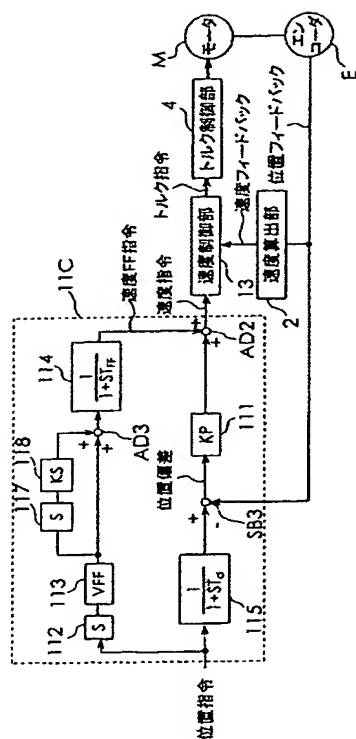


[Drawing 4]

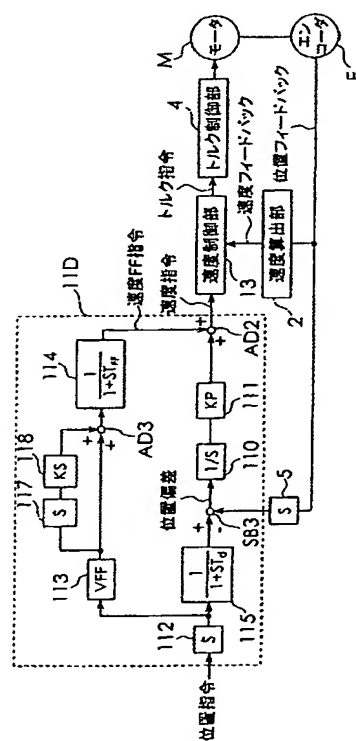


[Drawing 5]

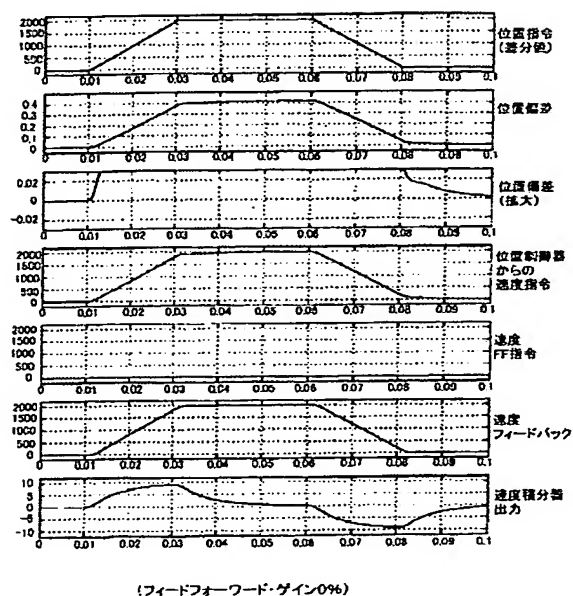




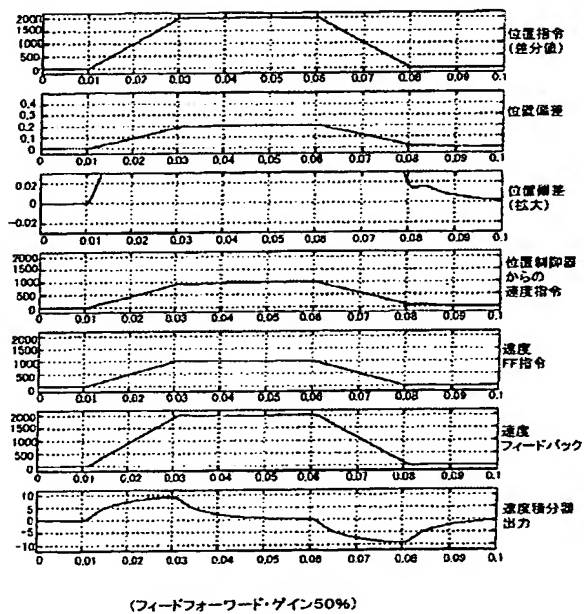
[Drawing 6]



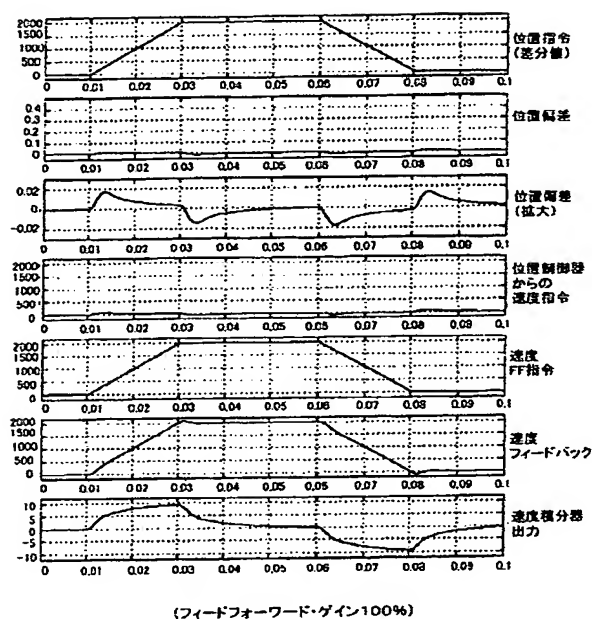
[Drawing 7]



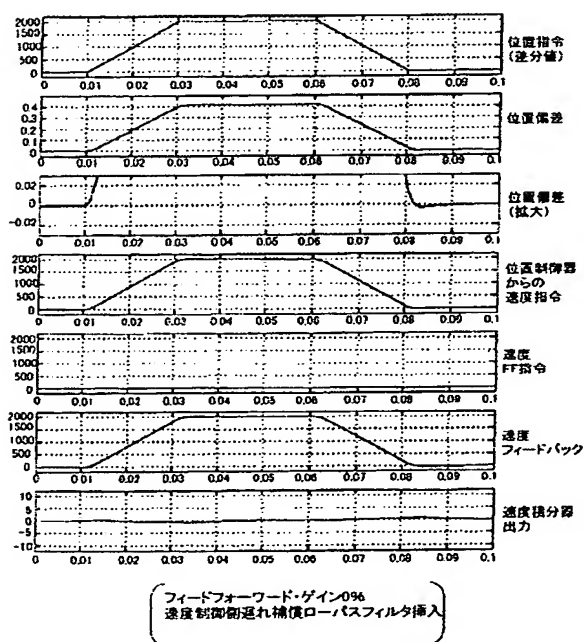
[Drawing 8]



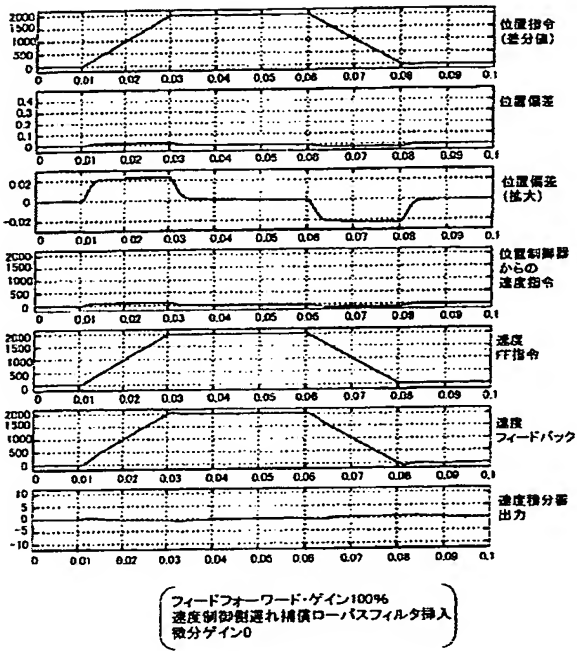
[Drawing 9]



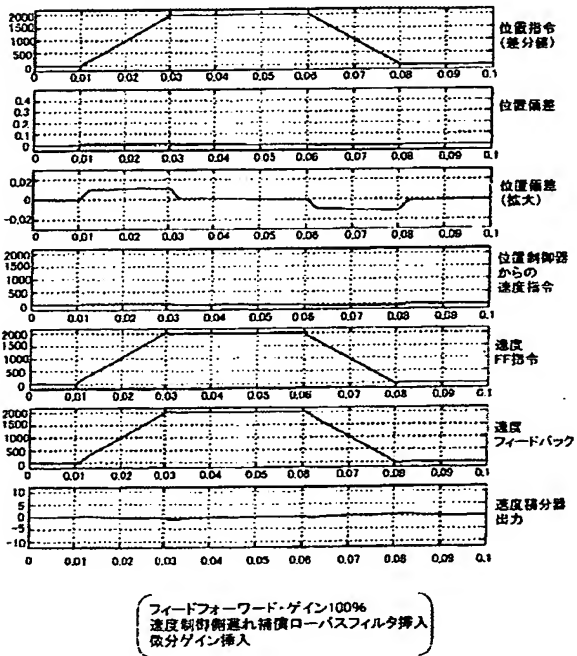
[Drawing 10]



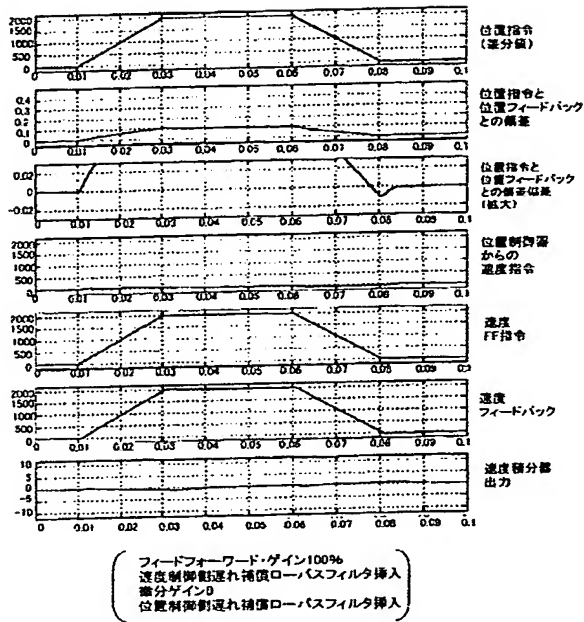
[Drawing 11]



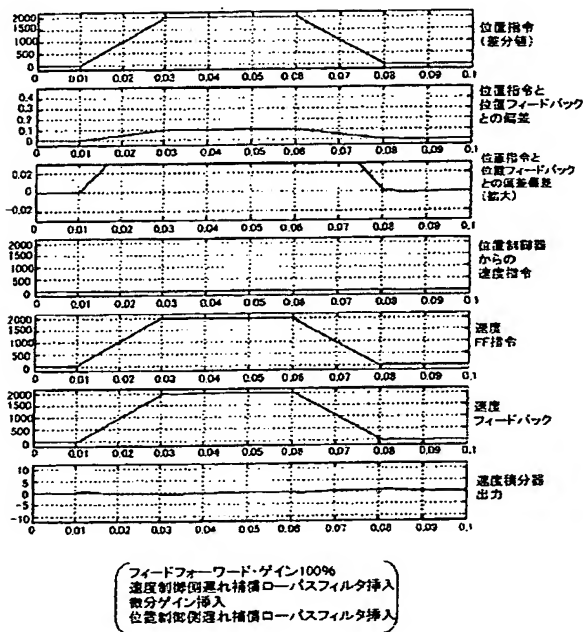
[Drawing 12]



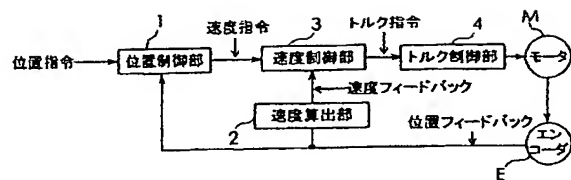
[Drawing 13]



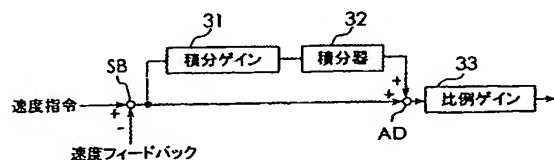
[Drawing 14]



[Drawing 15]



[Drawing 16]



[Translation done.]

**書誌**

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
(12)【公報種別】公開特許公報(A)  
(11)【公開番号】特開2004-288012(P2004-288012A)  
(43)【公開日】平成16年10月14日(2004. 10. 14)  
(54)【発明の名称】モータの位置制御装置  
(51)【国際特許分類第7版】

G05D 3/12  
G05B 11/32  
G05B 11/36

**【FI】**

G05D 3/12	S
G05B 11/32	F
G05B 11/36	B
G05B 11/36	D

【審査請求】未請求

【請求項の数】6

【出願形態】OL

【全頁数】15

(21)【出願番号】特願2003-81055(P2003-81055)

(22)【出願日】平成15年3月24日(2003. 3. 24)

(71)【出願人】

【識別番号】000180025

【氏名又は名称】山洋電気株式会社

【住所又は居所】東京都豊島区北大塚一丁目15番1号

(74)【代理人】

【識別番号】100091443

【弁理士】

【氏名又は名称】西浦 ▲嗣▼晴

(72)【発明者】

【氏名】井出 勇治

【住所又は居所】東京都豊島区北大塚一丁目15番1号 山洋電気株式会社内

【テーマコード(参考)】

5H004  
5H303

**【Fターム(参考)】**

5H004 GA03 GB20 HA07 HB07 HB08 JA03 KB02 KB22 KB32 LA01 MA12  
5H303 AA01 BB06 CC05 DD01 FF06 JJ02 KK02 KK04 KK14 KK17 KK28

**要約**

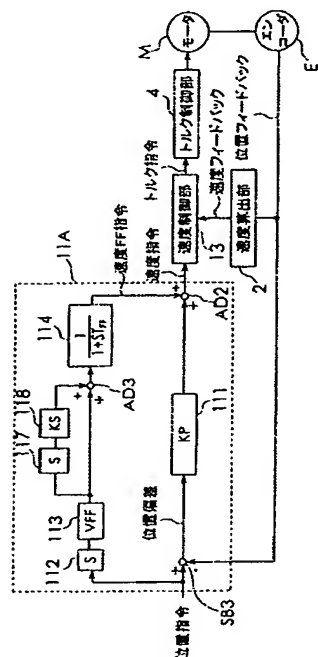
(57)【要約】

【課題】フィードフォワード・ゲインを100%まで上昇させることを可能にし、追従性を高めたモータの位置制御装置を提供する。

【解決手段】位置制御部11Aのフィードフォワード乗算出力を比例微分制御(117, 118)をするこ

とによって、速度指令の遅れ補償を行う。また、速度制御部13に、速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133を含める。また速度制御部13を速度指令を速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133に入力して得た遅延速度指令と速度との速度偏差を積分する速度積分器を含んで構成された積分制御系と、速度指令に比例した指令を出力する比例制御系と、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算したものに速度比例ゲインを乗じてトルク指令として出力する乗算手段とから構成する。更に位置検出部の量子化誤差及び／または位置誤差が原因となって発生するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数を有する速度フィードバック・ローパスフィルタを設ける。

【選択図】図1



## 請求の範囲

### 【特許請求の範囲】

#### 【請求項1】

制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、  
前記モータの速度を算出する速度算出部と、  
前記位置検出部からフィードバックされた前記モータの位置と位置指令とが一致するように速度指令を出力して位置制御をする位置制御部と、  
比例積分制御により、前記速度算出部からフィードバックされた前記速度と前記速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、  
前記トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの位置制御装置において、  
前記位置制御部は、前記位置指令と前記位置検出部により検出した前記位置との位置偏差を求める減算手段と、  
前記位置偏差に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段と、  
前記位置指令を微分する微分器と、



前記微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段と、  
前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力を比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する  
比例微分手段と、

前記位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有して、前記比例微分手段の出力  
と前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力との加算値をフィルタ処理するフィードフォワード  
・ローパスフィルタと、

前記フィードフォワード・ローパスフィルタの出力と前記位置ループ乗算手段の出力とを加算して前  
記速度指令を出力する加算手段とを備えていることを特徴とするモータの位置制御装置。

【請求項2】

速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを更に備え、  
前記位置指令が前記位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通して前記減算手段に入力されること  
を特徴とする請求項1に記載のモータの位置制御装置。

【請求項3】

前記速度制御部が、

速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタと、

前記速度指令を前記速度制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と前記速  
度との速度偏差を積分する速度積分器を含んで構成された積分制御系と、

前記速度指令と前記速度との差に比例した指令を出力する比例制御系と、

前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段と、

前記加算手段の出力に速度比例ゲインを乗じて前記トルク指令を得る乗算手段とを具備している請  
求項1または2に記載のモータの位置制御装置。

【請求項4】

前記速度制御部が、

速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタと、

前記速度指令を前記速度制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と前記速  
度との速度偏差を積分する速度積分器を含み制御系中の演算値に速度比例ゲインを乗じて出力す  
る積分制御系と、

前記速度指令と前記速度との差に速度比例ゲインを乗じた指令を出力する比例制御系と、

前記積分制御系の出力と前記比例制御系の出力とを加算する加算手段とから構成されていること  
を特徴とする請求項1または2に記載のモータの位置制御装置。

【請求項5】

制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、

前記モータの速度を算出する速度算出部と、

前記位置検出部からフィードバックされた前記モータの位置と位置指令とが一致するように速度指令  
を出力して位置制御をする位置制御部と、

比例積分制御により、前記速度算出部からフィードバックされた前記速度と前記速度指令とが一致す  
るようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、

前記トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの位置制御装置におい  
て、

前記位置制御部は、

前記位置指令を微分する微分器と、

前記微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段と、

前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力を比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する  
比例微分手段と、

前記位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有して、前記比例微分手段の出力  
と前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力との加算値をフィルタ処理するフィードフォワード  
・ローパスフィルタと、

前記微分器の出力と前記位置検出部により検出した前記位置の微分値との偏差を積分して前記位  
置偏差を前記位置ループ乗算手段に出力する積分器と、

前記積分器の出力に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段と、

前記位置ループ乗算手段から出力された指令と前記フィードフォワード・ローパスフィルタから出力された速度フィードフォワード指令とを加算して前記速度指令として出力する加算手段とを具備することを特徴とする請求項4に記載のモータの位置制御装置。

【請求項6】

速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタが前記微分器と前記積分器との間に配置され、

前記位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通った前記微分器の出力と前記位置の微分値との偏差が前記積分器に入力されることを特徴とする請求項5に記載のモータの位置制御装置。

詳細な説明

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、モータの位置制御装置に関するものであり、特に工作機械や半導体製造装置などに使用される高速位置決め用モータの位置を制御するのに適したモータの位置制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来のモータの位置制御装置としては、図15に示すような制御装置がある[特開平10-254550号公報(特許文献1)の図1参照]。この装置では位置指令と位置フィードバックの偏差が位置制御部に含まれる減算器で算出され、この偏差が位置制御部で処理されて速度指令として出力される。そしてエンコーダEから出力された位置フィードバックを速度算出部2で変換して得た速度フィードバックと速度指令との偏差を、速度制御部3に含まれる減算器で算出する。この偏差は、速度制御部3内で処理され、速度制御部3はトルク制御部4にトルク指令を出力する。トルク制御部4は、トルク指令通りのトルクがモータMから出力されるようにモータMに流れる電流を制御する。

【0003】

通常、この装置における位置制御部1は比例制御(P制御)部として構成されており、速度制御部3は比例積分制御(PI制御)部で構成されている。従来の速度制御部3を構成するPI制御部は、図16に示す構成を有している。このPI制御部では、速度指令と速度フィードバックとの偏差を減算器SBで算出し、その偏差をゲイン1の比例制御系を通して加算器ADに入力する。積分制御系では、乗算器31で偏差に積分ゲインを乗算した後、この偏差を速度積分器32で積分して加算器ADに入力する。加算器ADは、比例制御系の出力と積分制御系の出力とを加算して、乗算器33へと出力し、乗算器33は加算器ADの出力に比例ゲインを乗算してトルク指令として出力する。このように、速度制御部3をPI制御部で構成することにより、速度の過渡偏差のみならず、定常偏差も抑制できる。

【0004】

また特開平3-15911号公報(特許文献2)には、位置指令を微分して位置のフィードフォワード量を求め、位置ループ制御で得られた制御量に上記フィードフォワード制御量を加算して速度指令とし、位置のフィードフォワード制御量を微分して得られる速度のフィードフォワード制御量を速度ループ制御によって得られる値に加算して電流指令とすることにより、応答性を高めて安定したサーボ系を得るサーボモータの制御方法が開示されている。

【0005】

【特許文献1】特開平10-254550号公報(図1)

【0006】

【特許文献2】特開平3-15911号公報(図1)

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

従来の制御装置では、フィードフォワード・ゲインを上げることにより追従性は改善されるが、フィードフォワード・ゲインを100%まで上げるとオーバーシュートが大きくなるという問題があった。オーバーシュートは加工品質を劣化させるので、できるだけ抑制する必要がある。図7は従来の制御装置

において、フィードフォワード・ゲインを0%とした時の位置制御動作をシミュレーションしたものである。このように、フィードフォワード・ゲインが小さいと、オーバーシュートは小さいが、図9のようにフィードフォワード・ゲインを100%にすると、オーバーシュートが大きくなる。このため、従来は図8のように、50%程度のフィードフォワード・ゲインにし、オーバーシュートが大きくなならない範囲で、追従性を改善していた。

【0008】

制御理論的には、フィードフォワード制御では、制御対象の特性がわかっているときに、制御量が目標値に一致するよう操作量を逆算するのが良い。従来の制御系において、位置制御を行う場合の制御対象を速度制御系と見ると、操作量は速度指令であり、制御量は位置である。速度制御系を最も簡単なモデルで近似すると、一次遅れ系で表すことができ、制御対象の逆関数をとると一次進みとなる。従来はこれを一定の保証で行っていたため、高次の遅れ分に対する補償ができずオーバーシュートを生じていた。

【0009】

また、もう一つの要因として、位置制御器から出力される速度指令の問題がある。一般的に、制御系の応答は有限であり、速度フィードフォワード指令を出力しても速度フィードバックが応答するには時間がかかる。速度フィードフォワード指令が出力されてモータは駆動を開始するが、速度フィードフォワード指令が出力されてから速度フィードバックが応答するまでの間に生ずる位置偏差により、位置制御器から速度指令を出力してしまう。そして、モータが一定速で回転している間はこの位置偏差は減少するが、モータ減速時にまた位置偏差を生じ速度指令が出力される。

【0010】

このように、位置偏差により生じた速度指令が速度フィードフォワード指令に加算されるため、本来必要とする速度指令以上の速度指令が与えられ、オーバーシュートを生じていた。

【0011】

更に別の要因として速度制御器の問題がある。速度制御器は、通常、PI制御で構成されており、図16に示すような構成になっている。図7乃至図9は従来の速度制御器を用いた場合のシミュレーション結果である。制御系の応答が有限であるため、速度指令が与えられても、速度フィードバックが応答するまでには時間がかかり、この間に速度積分器は積算を行っている。この積分器の充放電により速度制御器の時間応答が低下しており、これによってもオーバーシュートが生じていた。以上のように、従来の制御装置では、フィードフォワード系の関数を比例系で構成していたこと、また、速度系の応答遅れを考慮せずに位置制御系が組みれていたこと、速度制御器が速度制御系の応答を考慮せずに組みれていたことにより、オーバーシュートを生じてしまい、フィードフォワード・ゲインを100%まで上昇させることができなかった。このため、追従性の向上には限度があるという問題があった。

【0012】

本発明の目的は、従来の問題を改善しフィードフォワード・ゲインを100%まで上昇させることを可能にし、追従性を高めたモータ位置制御装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、制御対象であるモータの位置を検出する位置検出部と、モータの速度を算出する速度算出部と、位置検出部からフィードバックされたモータの位置と位置指令とが一致するように速度指令を出力して位置制御をする位置制御部と、比例積分制御により、速度算出部からフィードバックされた速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う速度制御部と、トルク指令に基づいてトルク制御を行うトルク制御部とを備えたモータの位置制御装置を改良の対象とする。

【0014】

本発明の位置制御部は、位置指令と位置検出部により検出した位置との位置偏差を求める減算手段と、位置偏差に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段と、位置指令を微分する微分器と、微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段と、フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力を比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する比例微分手段と、位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有して、比例微分手段の出力と前記フィードフォワード・ゲイン乗算手段の出力との加算値をフィルタ処理するフィードフォー

ワード・ローパスフィルタと、フィードフォワード・ローパスフィルタの出力と位置ループ乗算手段の出力とを加算して速度指令を出力する加算手段とを備えている。

【0015】

本発明のように位置制御部でフィードフォワード乗算出力を比例微分制御すると、一次進みの特性を得ることができて、速度制御系の遅れを補償し、位置指令に対する追従性を改善できる。また、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いると、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差をゼロに近いものとしてすることができて、速度積分器の溜まり量をほぼゼロにできる。またフィードフォワード・ゲインを100%に上昇させた場合でもオーバーシュートの小さい制御系を構成することができ、より追従性を高めた位置制御が実現できる。またフィードフォワード・ローパスフィルタを用いれば、位置指令部が原因となって発生する量子化誤差に基づくリップルが速度指令それ自体に含まれるのを阻止することができる。

【0016】

また速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを更に設け、この位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通った位置指令と位置フィードバックの位置との位置偏差を位置ループ乗算手段に入力するようにしてもよい。また位置指令を微分する微分器の出力と位置の微分値の偏差を積分器で積分して位置偏差を求める場合には、速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを微分器と積分器との間に配置し、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを通った微分器の出力と位置の微分値との偏差を積分器に入力するようにしてもよい。

【0017】

このような位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを設けることにより、加速時において位置制御部に入力される位置指令と位置フィードバックとがほぼ同時期に立ち上がるようにする。その結果、位置制御部からの速度指令はかなり小さい値になる。このような構成を採用すると、速度フィードフォワード・ゲインを1または1に近い値にすることができ、位置指令に対する追従性を改善することができる。

【0018】

また本発明においては、速度制御部を、速度制御系の遅れに相当する伝達関数を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタと、速度指令を速度制御側遅れ補償ローパスフィルタに入力して得た遅延速度指令と速度との速度偏差を積分する速度積分器を含んで構成された積分制御系と、速度指令と速度との差に比例した指令を出力する比例制御系と、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算する加算手段と、この加算手段の出力に速度比例ゲインを乗じてトルク指令として出力する乗算手段とから構成する。なお比例制御系において速度比例ゲインを速度偏差に乗算し、積分制御系において制御中の演算値に速度比例ゲインを乗じて出力するようにしてもよい。本発明のように速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いれば、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差はゼロに近いものとなる。そのため速度積分器の溜まり量をほぼゼロにして、位置指令に対する追従性を改善できる。

【0019】

位置検出部(例えばエンコーダ)の精度が悪い場合には、量子化誤差や位置誤差が原因になったリップルが速度フィードバックに含まれることがある。そこでこのような場合に対処するためには、位置検出部の量子化誤差及び／または位置誤差が原因となって発生するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数を有する速度フィードバック・ローパスフィルタを設けるのが好ましい。この場合には、速度を速度フィードバック・ローパスフィルタに入力して得たフィルタ処理後の速度と速度指令との偏差を求める減算手段を含んで比例制御系を構成する。なお位置検出部として、精度及び分解能の高いものを用いれば、位置誤差も小さくなるため、このような構成を採用する必要はない。

【0020】

位置制御部は、位置指令と位置検出部により検出した位置との位置偏差を求める減算手段と、この位置偏差に位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段とから構成するのが好ましい。この場合において、位置制御部は、位置指令を微分する微分器と、微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算する乗算手段と、位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数を有するフィードフォワード・ローパスフィルタとを更に備えているのが好ましい。また、位置制御部は、位置指令を

微分する微分器とこの微分器の出力にフィードフォワード・ゲインを乗算した出力を、更に比例微分制御して速度制御系の遅れを補償する微分手段の出力と、前記フィードフォワード・ゲインの乗算手段の出力とを加算した出力をフィードフォワード・ローパスフィルタによりフィルタ処理するように構成してもよい。

【0021】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明のモータの位置制御装置の実施の形態の構成を示すブロック図である。このシステムは、制御対象であるモータMの位置を検出する位置検出部としてエンコーダEを備えている。エンコーダEの出力が、モータの出力軸の位置を示す位置フィードバックである。速度算出部2は、エンコーダEの出力に基づいてモータの速度を算出するように構成されており、速度算出部2の出力が速度フィードバックとなっている。速度フィードバックが、モータMの出力軸の回転速度を示している。位置制御部11Aは、位置検出部としてのエンコーダEからフィードバックされたモータMの位置と位置指令とが一致するように速度指令を出力して位置制御を行うように構成されている。この実施の形態では、位置制御部11Aが、位置指令を微分する微分器112と、微分器112の出力にフィードフォワード・ゲインVFFを乗算するフィードフォワード・ゲイン乗算手段113と、この乗算手段113からの出力を更に微分する微分器117と、微分器117からの出力に微分ゲイン( $K_s$ )を乗算する乗算器118と、乗算器118の出力とフィードフォワード・ゲイン乗算手段113の出力とを加算する加算手段AD3と、位置指令の量子化誤差によるリップルを除去する伝達関数( $1/(1+ST_{FF})$ )を有するフィードフォワード・ローパスフィルタ114とを備えている。この例では、微分器117と乗算器118とにより、速度制御系の遅れを補償する比例微分手段が構成されている。なお通常、フィードフォワード・ゲインVFFは40～60%(0.4～0.6)程度に設定される。そして位置指令と位置フィードバックの偏差は、減算手段SB3で求められ、この偏差を位置ループ乗算手段111で位置比例ゲインKP倍する。

【0022】

位置制御部11Aからは、位置ループ乗算手段111から出力された指令とフィードフォワード・ローパスフィルタ114から出力された速度フィードフォワード指令(速度FF指令)とが加算手段AD2で加算された指令が速度指令として出力される。このようなフィードフォワード乗算出力を比例微分制御することにより、一次進みの特性が得られ速度制御系の遅れを補償し、位置指令に対する追従性を改善できる。更にフィードフォワード・ローパスフィルタ114により、位置指令に含まれる量子化誤差に基づくリップルが速度指令それ自体に含まれるのを阻止することができる。

【0023】

速度指令は、速度制御部13を通してトルク指令となる。トルク制御部4は、トルク指令通りのトルクが出力されるよう電流を制御する。本実施の形態の装置では、フィードフォワードを追加することにより、位置決め整定時間を従来よりも短縮させることができる。

【0024】

図2は、本発明で用いる図1の速度制御部13の具体的な構成の一例を示すブロック図である。速度制御部13は、比例積分制御により、図1の速度算出部2からフィードバックされた速度と速度指令とが一致するようにトルク指令を出力して速度制御を行う。図2に示すように、本実施の形態で用いる速度制御部13は、速度制御系の遅れに相当する伝達関数( $1/(1+ST_c)$ )を有する速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133を備えている。また速度制御部13は、速度指令を速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133に入力して得た遅延速度指令と速度との速度偏差を減算手段SB2で求め、この速度偏差に積分ゲイン( $1/T_{vi}$ )を乗算する乗算手段131と、乗算手段131の出力を積分する速度積分器132を含んで構成された積分制御系と、速度指令に比例した指令を出力する比例制御系とを含んでいる。そして速度制御部13は、積分制御系の出力と比例制御系の出力とを加算手段AD1で加算したものに速度比例ゲインKVPを乗じてトルク指令として出力する乗算手段134を更に備えている。以上の構成が基本構成であるが、この例では、エンコーダ(位置検出部)の量子化誤差及び/または位置誤差が原因となって発生するリップルが、トルク指令に現れるのを阻止する伝達関数( $1/(1+ST_{FB})$ )を有する速度フィードバック・ローパスフィルタ135を更に備えている。またこの場合、比例制御系は、速度を速度フィードバック・ローパスフィルタ135に入力して得たフィルタ処理後の速度と速度指令との偏差を求める減算手段SB1を含んでいる。

【0025】



この例では、速度指令を速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133に通したものと速度フィードバックの差を減算手段SB2でとり、速度積分ゲイン( $1/T_{vi}$ )を乗算して速度積分器132に通す。また速度指令と、速度フィードバックを速度フィードバック・ローパスフィルタ135に通したものととの差を減算手段SB1でとり、速度積分器132の出力と加算手段AD1により加算する。そして最後に、速度比例ゲイン(KVP)を乗算してトルク指令を出力する。

#### 【0026】

前述の速度フィードバック・ローパスフィルタ135は、エンコーダEの量子化誤差や位置誤差によるリップルを抑制するフィルタである。このフィルタは、比例制御系のフィードバックにのみ挿入し、リップル分がトルク指令に現れないようにする機能を果たす。積分制御系では、速度積分器132が平滑作用を行うため、このようなフィルタは不要である。

#### 【0027】

速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133は、速度制御系の遅れに相当する時間を設定し、遅れ補償出力と速度フィードバックとがほぼ同等の立ち上がりになるようにし、速度指令変化時の速度積分器132の溜り量を低減する。このように速度制御部13を構成することにより、速度フィードバックに含まれるリップルの抑制と、速度指令変化時の速度積分器132の溜り量の低減を同時に達成することができる。

#### 【0028】

なお、エンコーダEの量子化誤差が小さい場合は、速度フィードバック・ローパスフィルタ135は不要である。また、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133は、速度制御系の遅れを模擬する伝達関数であれば、どのようなものでもよく、本実施の形態の伝達関数に限定されるものではない。

#### 【0029】

図3は、速度制御部13'の変形例を示すブロック図である。図2の速度制御部13と速度制御部13'とを対比すると、図3の速度制御部13'では速度比例ゲインKVPの乗算手段134'が比例制御系の内部にある点(加算手段AD1の前に挿入されている点)と、積分制御系において速度比例ゲインKVPを演算値に乗算するために、乗算手段131'の伝達関数を変更している点で前者の速度制御部13とは構成が相違する。このようにしても図2の速度制御部13と同様の作用効果を得ることができる。

#### 【0030】

図4は、図1の実施の形態の変形例を示すブロック図である。図4の実施の形態は、位置制御部11Bの構成が図1の実施の形態とは異なっており、図4においては、図1の実施の形態の構成要素と同様の要素には図1に付した符号と同様の部分に、図1に付した符号と同じ符号を付して説明を省略する。図1の実施の形態と図4の実施の形態とを対比すると、微分器112の位置が異なる点と、積分器116と微分器5とが新たに追加された点で両者は相違する。すなわちこの位置制御部11Bでは、位置指令を微分する微分器112が減算手段SB3の前に入り、位置検出器で検出した位置を微分する微分器5が減算手段SB3の前に入り、微分器112の出力(位置指令を微分したもの)と微分器5の出力(位置を微分したもの)との偏差(位置微分偏差)を積分する積分器116が、位置比例ゲインを乗算する位置ループ乗算手段111の前段に入っている。この実施の形態によっても、図1の実施の形態と同様の効果が得られる。

#### 【0031】

図5は、本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示すブロック図である。図1に示した実施の形態の構成要素と同様の構成要素には、図1に付した符号と同じ符号を付して説明を省略する。この実施の形態では、図1の実施の形態の構成要件に加えて、速度制御系の遅れに相当する伝達関数( $1/(1+ST_d)$ )を有する位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115を位置制御部11Cが更に備えている。この実施の形態では、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115を通った位置指令と位置フィードバックとの位置偏差が減算手段SB3により求められ、位置偏差が位置ループ乗算手段111に入力されている。この例では、フィードフォワード・ゲインVFFが1または1に近い値に設定されている。

#### 【0032】

位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115には、速度制御系の遅れを伝達関数として設定してある。位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115の出力と位置フィードバックとが同程度に立ち上がるように位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115の伝達関数が定められている。位置制御側遅れ補

償ローパスフィルタ115を追加すると、位置制御部11Cの位置ループ乗算手段111の出力はかなり小さな値になる。この装置では、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115の追加により、フィードフォワード・ゲインVFFを100%または100%に近い値まで(1または1に近い値まで)上げることができ、図1の実施の形態の場合と同程度、もしくは、それよりは若干短く、位置決め整定時間を短縮できる。

【0033】

図6は、図4の実施の形態において、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115を追加した場合の構成を示すものである。その他の点は、図4の実施の形態と同様であるので説明は省略する。

【0034】

図10には、図1及び図2の実施の形態において、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ133を挿入し且つフィードフォワード・ゲインを0にしたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図7の従来例と比較すると、速度積分器の溜まり量が0に近くなっていることが分かる。また図11には、図10の条件において微分ゲインは0とし、フィードフォワード・ゲインを100%としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。このようにすると位置のオーバーシュート量が大きくなることが分かる。そして図12には、図11の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図11と比較すると、図12からは、フィードフォワード・ゲインを100%にした場合でもオーバーシュート量が減ることが分かる。図13には、図11の条件において、図5の構成のように、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ115を挿入したときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図13の場合においても、図11と比較すると、オーバーシュート量が減少しているのが分かる。さらに図14には、図13の条件で微分ゲインを入れたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す。図14では、加減速時の位置制御器からの速度指令がほぼ0になっており、フィードフォワード・ゲインを100%にしても、オーバーシュートが小さく、追従性が大きく改善されていることが分かる。最終的に、一定速時の位置偏差は、図8に示す従来例のフィードフォワード・ゲインを50%にしたときの約1/2程度まで減少しており、従来と比較すると追従性が約2倍に向上することが分かる。

【0035】

【発明の効果】

本発明によれば、位置制御部でフィードフォワード乗算出力を比例微分制御することにより、一次進みの特性を得て、速度制御系の遅れを補償し、位置指令に対する追従性を改善できる利点がある。また、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを用いていると、速度制御系の遅れに相当する遅れを持った速度指令と実際に遅れている速度フィードバックの速度との偏差をゼロに近いものとしてでき、速度積分器の溜まり量をほぼゼロにできる。またフィードフォワード・ゲインを100%に上昇させた場合でもオーバーシュートの小さい制御系を構成でき、より追従性を高めた位置制御が実現でき、より高速な追従性が実現できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のモータの位置制御装置の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明で用いる速度制御部の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図3】本発明で用いる他の速度制御部の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図4】本発明のモータの位置制御装置の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図7】従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを0%としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図8】従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを50%としたときの位置制御動作のシミュレーションした結果を示す図である。

【図9】従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを100%としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図10】図1及び図2の実施の形態において、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを挿入し且つフィードフォワード・ゲインを0にしたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図11】図10の条件において微分ゲインは0とし、フィードフォワード・ゲインを100%としたときの

位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図12】図11の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作のシミュレーションした結果を示す図である。

【図13】図11の条件において、図5の構成のように、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを挿入したときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図14】図13の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図15】従来のモータの位置制御装置の構成を示す図である。

【図16】従来の速度制御部の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

13, 13' 速度制御部

2 速度算出部

4 トルク制御部

11A, 11B, 11C, 11D 位置制御部

SB1, SB2, SB3 減算手段

KP 位置比例ゲイン

KS 微分ゲイン

KVP 速度比例ゲイン

VFF フィードフォワード・ゲイン

111 位置ループ乗算手段

5, 112, 117 微分器

113, 131, 134, 131', 134' 乗算手段

114 フィードフォワード・ローパスフィルタ

115 位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ

110, 116 積分器

132 速度積分器

133 速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ

135 速度フィードバック・ローパスフィルタ

AD1, AD2, AD3 加算手段

## 図の説明

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のモータの位置制御装置の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明で用いる速度制御部の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図3】本発明で用いる他の速度制御部の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図4】本発明のモータの位置制御装置の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明のモータの位置制御装置の更に他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図7】従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを0%としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図8】従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを50%としたときの位置制御動作のシミュレーションした結果を示す図である。

【図9】従来の位置制御装置におけるフィードフォワード・ゲインを100%としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図10】図1及び図2の実施の形態において、速度制御側遅れ補償ローパスフィルタを挿入し且つフィードフォワード・ゲインを0にしたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図11】図10の条件において微分ゲインは0とし、フィードフォワード・ゲインを100%としたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図12】図11の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作のシミュレーションした結果を



示す図である。

【図13】図11の条件において、図5の構成のように、位置制御側遅れ補償ローパスフィルタを挿入したときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図14】図13の条件において微分ゲインを入れたときの位置制御動作をシミュレーションした結果を示す図である。

【図15】従来のモータの位置制御装置の構成を示す図である。

【図16】従来の速度制御部の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

13, 13' 速度制御部

2 速度算出部

4 トルク制御部

11A, 11B, 11C, 11D 位置制御部

SB1, SB2, SB3 減算手段

KP 位置比例ゲイン

KS 微分ゲイン

KVP 速度比例ゲイン

VFF フィードフォワード・ゲイン

111 位置ループ乗算手段

5, 112, 117 微分器

113, 131, 134, 131', 134' 乗算手段

114 フィードフォワード・ローパスフィルタ

115 位置制御側遅れ補償ローパスフィルタ

110, 116 積分器

132 速度積分器

133 速度制御側遅れ補償ローパスフィルタ

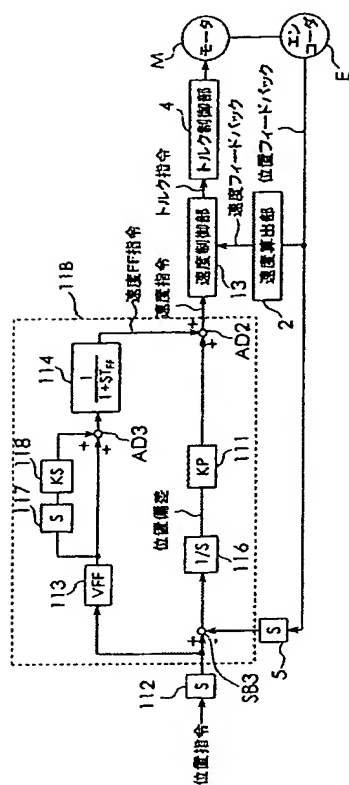
135 速度フィードバック・ローパスフィルタ

AD1, AD2, AD3 加算手段

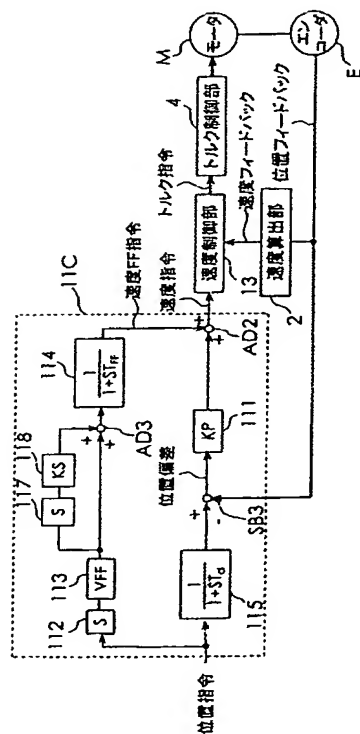
## 図面

【図1】

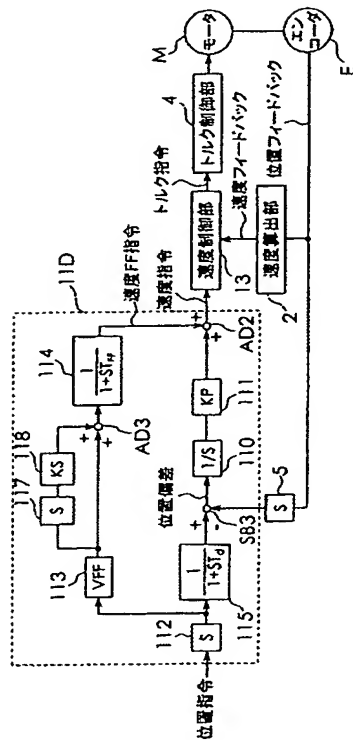




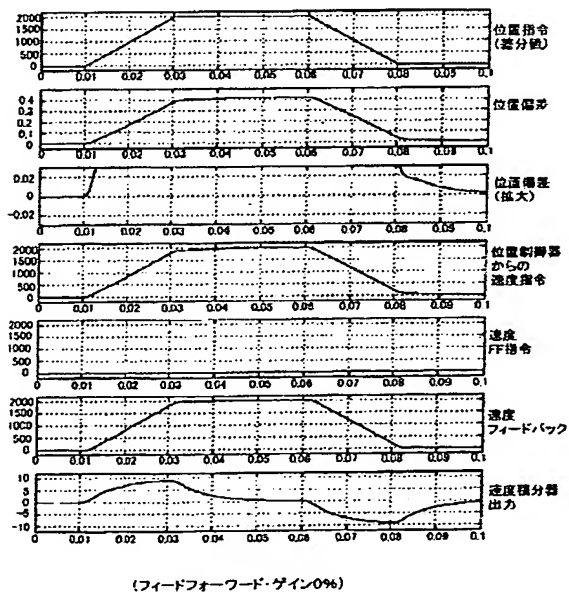
【図5】



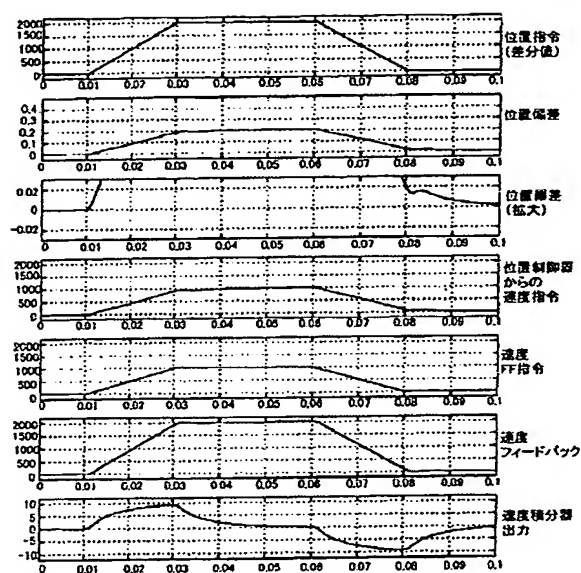
【図6】



【图7】

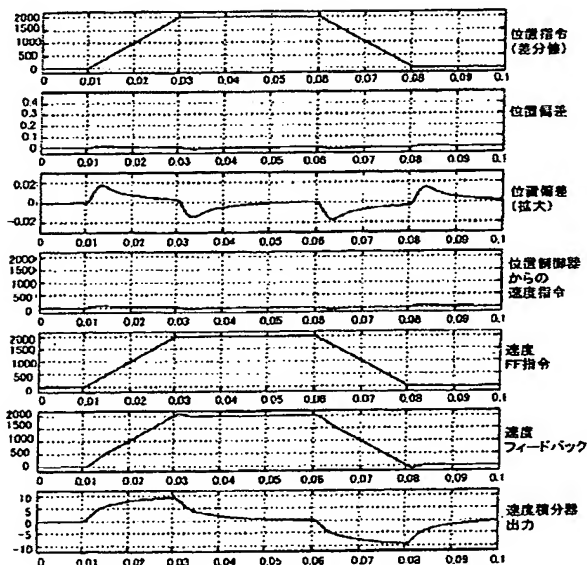


【図8】



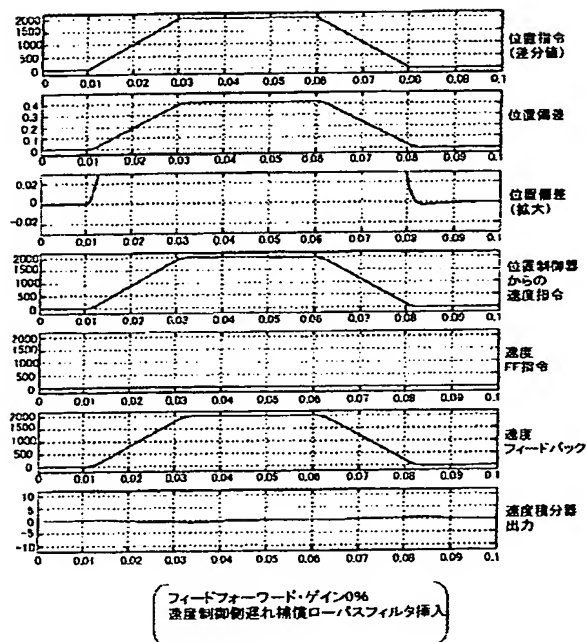
(フィードフォワード・ゲイン50%)

【図9】

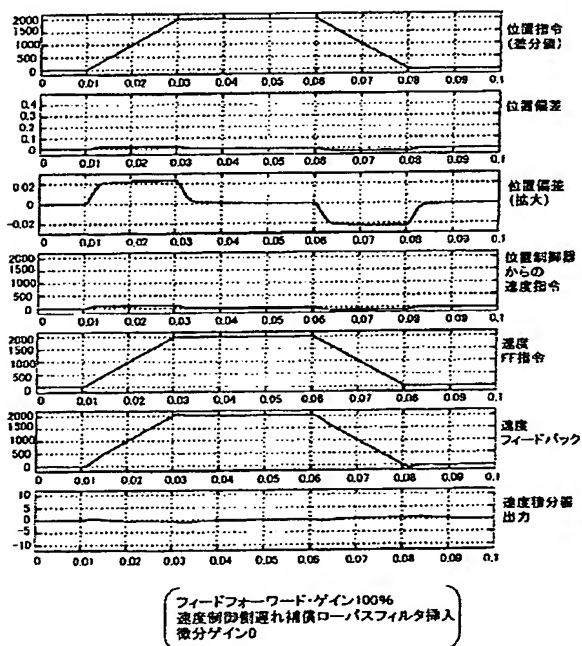


(フィードフォワード・ゲイン100%)

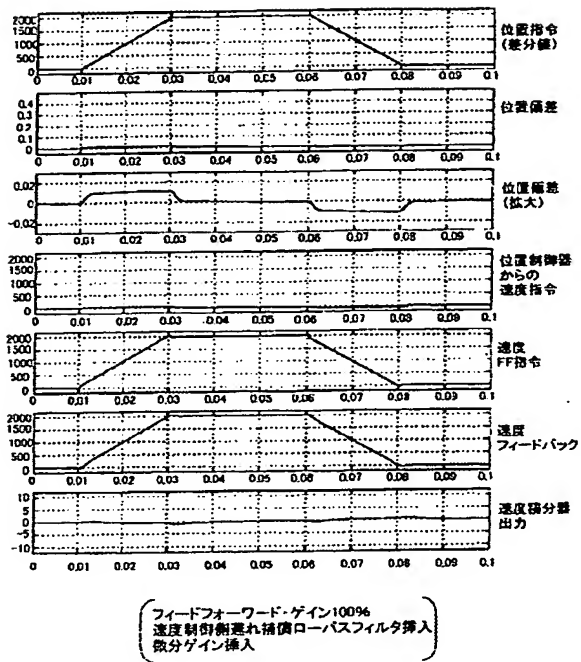
【図10】



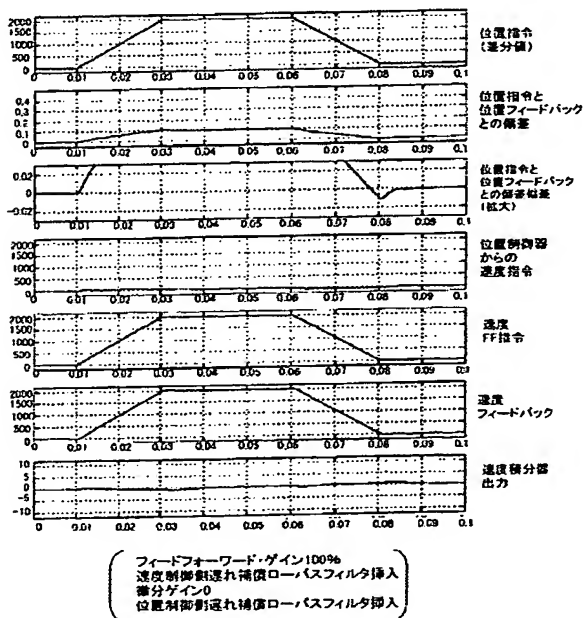
【図11】



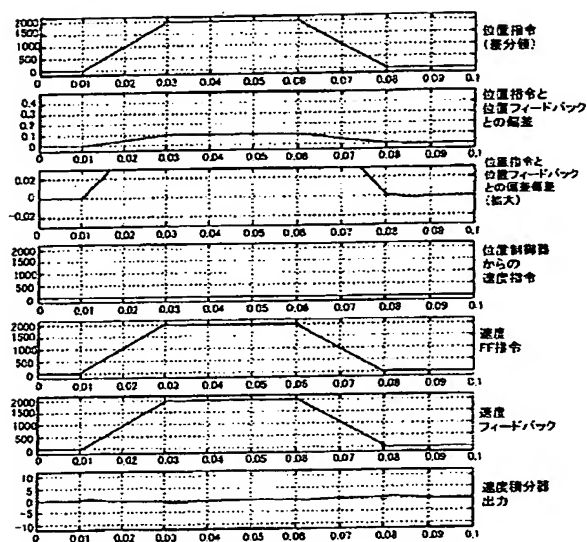
【図12】



【図13】

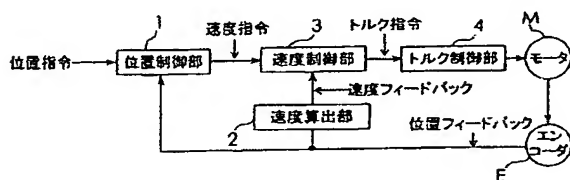


【図14】



フィードフォワード・ゲイン100%  
 速度制御器遅れ補償ローパスフィルタ挿入  
 数分ゲイン挿入  
 位置制御器遅れ補償ローパスフィルタ挿入

【図15】



【図16】

